

# 南瓜籽多糖乙醇分级沉淀与超声波改性研究\*

王丽波<sup>1</sup> 徐雅琴<sup>1</sup> 于泽源<sup>2</sup> 王泰恒<sup>1</sup> 李鲁滨<sup>1</sup>

(1. 东北农业大学理学院, 哈尔滨 150030; 2. 东北农业大学园艺学院, 哈尔滨 150030)

**摘要:** 采用热水浸提、Savag 脱蛋白制备南瓜籽多糖, 蒸馏水复溶后采用 0~30%、30%~60%、60%~80% 乙醇分级沉淀法得到 3 种多糖 PSP-30、PSP-60 和 PSP-80。通过测定多糖、蛋白含量、单糖组成及利用红外和紫外光谱检测表明: PSP-30、PSP-60 和 PSP-80 均为结合一定量蛋白的多糖, 不含糖醛酸; PSP-30、PSP-60 由鼠李糖、阿拉伯糖、木糖、甘露糖、葡萄糖和半乳糖 6 种单糖组成, PSP-80 由鼠李糖、阿拉伯糖、木糖、葡萄糖、半乳糖 5 种单糖组成。3 种多糖对 DPPH 自由基均有较高清除作用, 其中 PSP-60 效果最好, 当质量浓度 2.5 mg/mL 时, 清除率为 61.90%。多糖 PSP-60 经不同频率超声波处理后, 单糖组成的物质的量比和抗氧化活性均有所改变, 证实超声波可以造成多糖中单糖的转化和生物活性的改变。

**关键词:** 南瓜籽多糖 单糖组成 乙醇分级 超声波 结构改性 光谱分析

**中图分类号:** TS218 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2015)08-0206-05

## Ethanol Fractional Precipitation and Ultrasonic Modification of Pumpkin Polysaccharides

Wang Libo<sup>1</sup> Xu Yaqin<sup>1</sup> Yu Zeyuan<sup>2</sup> Wang Taiheng<sup>1</sup> Li Lubin<sup>1</sup>

(1. College of Science, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China

2. College of Horticulture, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

**Abstract:** Pumpkin polysaccharides were extracted with hot water and deproteinized by Savag method. After rehydration with distilled water, soluble polysaccharides were successively fractionated by different gradient concentrations of ethanol (0~30%, 30%~60%, 60%~80%) into three precipitation fractions, named PSP-30, PSP-60 and PSP-80. Contents of sugar, protein and monosaccharide composition were determined, UV and IR spectroscopy analysis were run simultaneously to determine their spectroscopy properties. The results indicated that all three fractions were combined with a certain amount of protein, and uronic acid was not found. PSP-30 and PSP-60 were composed of mannose, arabinose, xylose, mannose, glucose and galactose, but PSP-80 was composed of mannose, arabinose, xylose, glucose and galactose. Each of these fractions all had good scavenging effect on DPPH free radical, and PSP-60 removal rate was the highest, its removal rate was 61.90% at concentration of 2.5 mg/mL, PSP-60 was treated with different frequencies ultrasonic, the mol ratios of these monosaccharides and antioxidant activity were changed. The results confirm that ultrasonic can cause monosaccharide transformation and biological activity change of polysaccharides. However, there is no regularity between the increase of ultrasound frequency and the monosaccharide composition after transformation. So the effect of ultrasound on polysaccharide structure is still a task to be studied.

**Key words:** Pumpkin polysaccharides Monosaccharide composition Ethanol fractional precipitation Ultrasonic Structure modification Spectral analysis

收稿日期: 2014-09-16 修回日期: 2015-01-18

\* 黑龙江省教育厅科学技术研究资助项目(12531052)和东北农业大学青年启动基金资助项目(2011QN208)

作者简介: 王丽波, 副教授, 博士, 主要从事天然产物研究, E-mail: wanglibo99166@163.com

通讯作者: 于泽源, 教授, 博士生导师, 主要从事园艺作物采后加工和处理研究, E-mail: zzy@neau.edu.cn

## 引言

南瓜籽 (*Semen moschatae*) 是成熟南瓜的种子, 又称南瓜仁、白瓜籽、金瓜籽。南瓜籽味甘、性温, 具有驱除寄生虫、降低 LDL 胆固醇、抗氧化、缓解高血压、治疗和预防前列腺增生、健脾、利尿等功效, 是一味药食两用的中药<sup>[1-2]</sup>。很多研究已表明南瓜多糖具有抗氧化活性<sup>[3]</sup>、降血糖<sup>[4]</sup>、抗肿瘤<sup>[5]</sup>、抑制  $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性<sup>[6]</sup> 及抑菌活性<sup>[7]</sup>, 但以往人们对南瓜籽主要集中在含量较高的南瓜籽油、蛋白、植物甾醇及矿物质等成分的研究<sup>[8-9]</sup>, 对其中多糖成分并未给予关注。本文采用热水浸提法, 乙醇分级沉淀制备南瓜籽多糖, 测定其单糖组成及抗氧化活性, 并测定超声改性后单糖的种类和抗氧化活性的变化。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料和试剂

宝库 1 号裸仁南瓜籽, 讷河市宝库良种繁育研究所; 标准阿拉伯糖、木糖、岩藻糖、鼠李糖、半乳糖、葡萄糖、甘露糖、肌醇均为生化试剂, 美国 Sigma 公司; 色谱纯吡啶, 天津光复精细化工研究院; 分析纯乙酸酐, 天津科密欧化学试剂有限公司; 色谱纯三氟乙酸, 上海凌峰化学试剂有限公司; 1,1-二苯基-2-苦基肼 DPPH, AR, 阿拉丁化学试剂有限公司; 其他试剂均为分析纯。

### 1.2 主要设备和仪器

FW80 型高速万能粉碎机, 天津市泰斯特仪器有限公司; LD4-2 型离心机, 北京医用离心机厂; R-205 型旋转蒸发仪, 上海申胜生物技术有限公司; TU-1901 型双光束紫外可见分光光度计, 北京普析通用仪器有限责任公司; GC-2010 plug 型气相色谱仪, 日本岛津公司; fdu-1100 型冷冻干燥机, 日本 Eyela 公司; FTS135 型傅里叶变换红外光谱仪, 美国 BID-BAD 公司; JY92-2D 型超声波细胞粉碎机, 宁波新芝生物科技股份有限公司。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 南瓜籽多糖制备

采用传统的水提醇沉法提取南瓜籽多糖。称取脱脂南瓜籽粉末 50 g, 按照液料比 20 mL/g、提取时间 1 h、提取温度 50℃, 提取液 4 000 r/min 离心 15 min, 上层清液旋蒸浓缩后, 采用 Sevag 法 (氯仿与正丁醇体积比例 4:1) 脱蛋白, 反复多次至无絮状物蛋白层, 蒸馏水透析后旋蒸浓缩, 加入无水乙醇至体积分数为 80%, 静置 12 h, 4 000 r/min 离心制备沉淀, 依次用无水乙醇、丙酮、乙醚各洗 2 次, 冷冻干燥得南瓜籽多糖。

#### 1.3.2 南瓜籽多糖乙醇分级沉淀

称取南瓜籽多糖用蒸馏水复溶, 加入无水乙醇, 使乙醇体积分数达到 30% (酒精比重计示数 0.964, 20℃)<sup>[10]</sup>, 4℃ 下静置 12 h, 4 000 r/min 离心 15 min, 收集沉淀, 冷冻干燥得到多糖 PSP-30, 上清液按体积继续加入无水乙醇至乙醇体积分数为 60% (酒精比重计示数 0.910, 20℃), 4℃ 下静置 12 h, 4 000 r/min 离心 15 min, 沉淀经冷冻干燥后标记为 PSP-60, 上清液中继续加入无水乙醇, 使乙醇最终体积分数为 80% (酒精比重计示数 0.860, 20℃), 4℃ 下静置 12 h, 4 000 r/min 离心制得沉淀, 冷冻干燥得到多糖 PSP-80。

#### 1.3.3 多糖超声波处理

将 1.3.2 节中提取的南瓜籽多糖 PSP-60 配制成质量分数为 1.0% 的溶液, 取 3 份分别进行 30 min/40 Hz、30 min/70 Hz 和 30 min/100 Hz 超声波处理, 处理完之后将多糖浓缩、冷冻干燥得到超声波改性的南瓜籽多糖。每个超声波处理条件下平行测定 3 个相同多糖样品。

#### 1.3.4 多糖组成测定

以葡萄糖为标准品, 苯酚-硫酸法测定糖含量<sup>[11]</sup>; 以半乳糖醛酸为标准品, 硫酸-咔唑法测定糖醛酸含量<sup>[12]</sup>; 以牛血清蛋白为标准品, 考马斯亮蓝法测定蛋白含量<sup>[13]</sup>。每个样品重复测定 3 次。

#### 1.3.5 紫外可见光谱分析 (UV)

称取一定量多糖样品, 用去离子水配成 0.5 mg/mL 的溶液, 采用 TU-1901 型双光束紫外可见分光光度计进行扫描, 扫描波长 190~400 nm。

#### 1.3.6 红外光谱测定 (IR)

称取 1~2 mg 经冷冻干燥的多糖样品, KBr 研磨后压片, FTS135 型傅里叶变换红外光谱仪在 400~4 000  $\text{cm}^{-1}$  区内扫描。

#### 1.3.7 单糖组成分析

取多糖约 30 mg 于具塞试管中, 加入 2 mol/L 的三氟乙酸 2 mL, 封管, 120℃ 水解 3 h, 60℃ 减压蒸干, 加少量甲醇减压蒸干, 反复 3 次除尽三氟乙酸。水解产物加入盐酸羟胺 10 mg, 内标肌醇 7 mg 和吡啶 0.5 mL, 于 90℃ 水浴加热 30 min 并振荡, 取出冷却至室温 (20℃), 加入醋酸酐 0.5 mL 在 85℃ 继续加热 30 min 进行乙酰化, 产物浓缩至干, 加入 0.5 mL 氯仿溶解, 溶液经 0.45  $\mu\text{m}$  滤膜过滤后, 0.4  $\mu\text{L}$  进样, 气相色谱仪进行分析, 标准单糖的糖腈乙酸酯衍生物经同样处理作为对照<sup>[14]</sup>。

气相色谱分析条件: RTX-1701 型石英毛细管色谱柱, 0.25  $\mu\text{m}$   $\times$  30.0 m; 检测器: 氢火焰离子化检测器 (FID); 程序升温: 180 (5℃/min) ~ 220℃

(5 min), 220(10°C/min) ~ 280°C (20 min); 气化温度 280°C; 检测器 280°C; 载气: 高纯氮气。根据样品与标准品的出峰位置判断多糖组成, 根据峰面积计算各单糖的分子摩尔比。

### 1.3.8 多糖样品清除 DPPH 自由基能力的测定

取不同质量浓度多糖溶液(0.5、1.0、1.5、2.0、2.5 mg/mL)各 2.0 mL 于试管中, 加入 0.3 mol/L DPPH 2.0 mL, 避光反应 30 min, 于 517 nm 波长处测定吸光度( $A_i$ ); 再取上述多糖液 2.0 mL, 加入 2.0 mL 无水乙醇, 反应 30 min, 于 517 nm 波长处测定吸光度( $A_j$ ); 取 2.0 mL DPPH, 加入 2.0 mL 无水乙醇, 反应 30 min 测定吸光度( $A_0$ )<sup>[15]</sup>。每个浓度的样品重复测定 3 次取平均值。以维生素 C 作阳性对照, 清除率  $D$  计算公式为

$$D = [1 - (A_i - A_j) / A_0] \times 100\%$$

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同浓度醇沉多糖结构和生物活性测定

#### 2.1.1 多糖化学组成测定

水提醇沉法制备的南瓜籽多糖经不同浓度的乙醇分级沉淀所得产物 PSP-30、PSP-60 和 PSP-80 冻干后均为灰白色絮状固体。3 种多糖组成见表 1, 3 种多糖都含有一定蛋白存在, 说明这 3 种多糖可能均为结合一定蛋白的复合物。同时 3 种多糖中均未测到糖醛酸的存在。

表 1 不同浓度醇沉制备的南瓜籽多糖组成(质量分数)

多糖组分	糖	蛋白	%
PSP-30	60.10 ± 2.14	12.31 ± 1.87	
PSP-60	78.83 ± 1.36	8.29 ± 2.34	
PSP-80	89.02 ± 2.04	9.76 ± 2.58	

#### 2.1.2 紫外可见光谱分析

图 1 是 3 种多糖 PSP-30、PSP-60 和 PSP-80 水溶液经紫外扫描后的结果, 由图可知, 这 3 种多糖在 260 nm 处均没有吸收峰, 说明多糖中不含核酸成分; 在 280 nm 处, 只有 PSP-30 有较小吸收, PSP-60 和 PSP-80 吸收峰不明显, 这与 2.1.1 节多糖组成中蛋白质含量的测定结果基本一致。

#### 2.1.3 单糖组成测定

7 种混合标准单糖衍生物的气相色谱分析如图 2 所示, 左起分别为鼠李糖、岩藻糖、阿拉伯糖、木糖、甘露糖、葡萄糖、半乳糖、肌醇, 除岩藻糖和阿拉伯糖没有完全分离外, 其他均得到较好地分离。3 种多糖 PSP-30、PSP-60 和 PSP-80 经气相色谱

分析检测后所得的单糖组成分析结果如表 2 所示, PSP-30 和 PSP-60 都含有 6 种单糖, 但单糖的组成比例不尽相同, PSP-80 只含有 5 种单糖, 不含甘露糖, 3 种多糖中半乳糖的含量均较高。

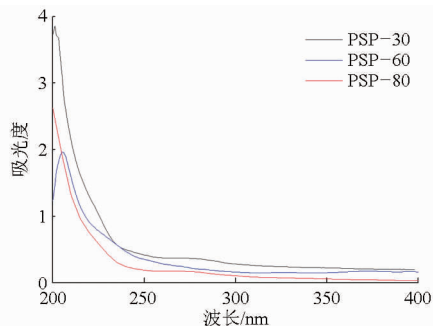


图 1 多糖溶液的紫外扫描图谱

Fig.1 UV scanning spectra of polysaccharide solution

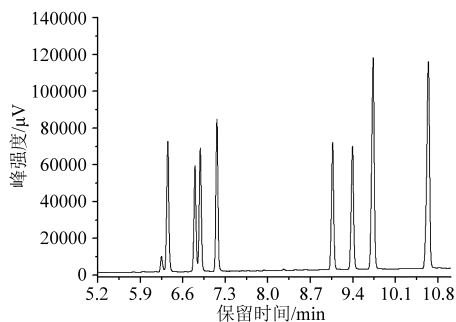


图 2 标准单糖糖腈乙酸酯衍生物的气相色谱图

Fig.2 GC chromatogram of monosaccharide standard derivatives

表 2 多糖的单糖组成物质的量比

Tab.2 Monosaccharide composition of polysaccharides

多糖组分	鼠李糖	阿拉伯糖	木糖	甘露糖	葡萄糖	半乳糖
PSP-30	5.68	0.62	0.58	0.21	1.00	1.35
PSP-60	0.97	1.02	0.89	0.49	1.00	1.17
PSP-80	1.33	1.14	0.67		1.00	1.48

#### 2.1.4 红外光谱分析

3 种多糖 PSP-30、PSP-60 和 PSP-80 的红外光谱图如图 3 所示。3 种多糖均在  $3295\text{ cm}^{-1}$  处具有较宽的吸收峰, 为 O—H 的伸缩振动,  $2936\text{ cm}^{-1}$  处的小肩峰和  $1398\text{ cm}^{-1}$  处的吸收峰为烷基 C—H 伸缩振动和弯曲振动的特征峰<sup>[16]</sup>;  $1657 \sim 1500\text{ cm}^{-1}$  之间的吸收峰是氨基的 N—H 变角振动,  $1730\text{ cm}^{-1}$  无吸收峰, 说明不含有糖醛酸结构中的 C=O 的伸缩振动, 与之前的糖醛酸含量测定结果相一致<sup>[17]</sup>;  $1067\text{ cm}^{-1}$  为糖环 C—O—C 醚键的不对称伸缩振动, 是糖类的特征吸收峰<sup>[18]</sup>; 在  $847\text{ cm}^{-1}$  附近有  $\beta$ -端基差向异构体的 C—H 变角振动引起,  $791\text{ cm}^{-1}$  处出峰则是由吡喃糖的  $\alpha$ -端基差向异构体的 C—H 变角振动引起<sup>[19]</sup>。

红外光谱图显示, 采用不同醇沉浓度制备的多

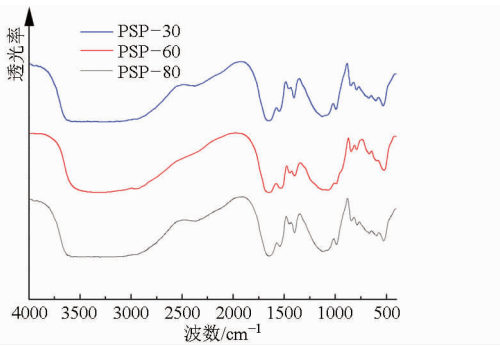


图 3 不同浓度醇沉多糖的红外光谱图  
Fig. 3 IR spectra of polysaccharide samples by different concentrations of alcohol precipitation

糖的基团无显著性差异,也再次证明 3 种多糖均为蛋白-糖复合物。

### 2.1.5 多糖清除自由基能力比较

多糖 PSP-30、PSP-60 和 PSP-80 清除 DPPH 自由基能力如图 4 所示,3 种多糖均具有一定的清除 DPPH 自由基的能力,在 0.5 ~ 2.5 mg/mL 质量浓度范围内,随浓度的增加,3 种多糖对 DPPH 自由基清除率明显增加,其中 PSP-60 具有较高的清除能力,当质量浓度达到 2.5 mg/mL 时,DPPH 自由基清除率为 61.90%。

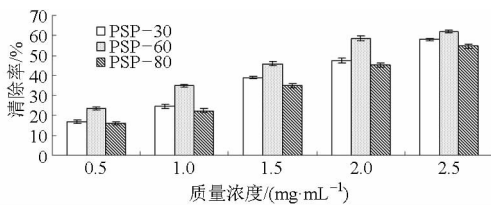


图 4 多糖对 DPPH 自由基清除作用  
Fig. 4 Scavenging activity of polysaccharide sample on DPPH radicals

## 2.2 超声波改性对多糖的影响

### 2.2.1 超声波改性对多糖单糖组成的影响

超声波改性后多糖的单糖组成分析结果如表 3 所示。对比不同频率超声波改性的多糖 PSP-60 糖腈乙酸酯衍生物的气相色谱图和标准单糖的气相色谱图可以发现,多糖 PSP-60 经超声波改性后单糖的组成种类没有发生变化,仍然是 6 种单糖,但不同单糖间的物质的量比发生了明显改变,并呈现不规则变化。刘娜女等<sup>[20]</sup>的研究结果表明超声波作用可使半乳糖转化为它的同分异构体葡萄糖,证实了超声波可引起化学断键及原子重排,且转化率随超声波功率的增大呈先增大后减小的趋势。但在本试验中由于多糖的组成较复杂,含有 6 种单糖,超声波频率可能对每种单糖的影响程度不同,单糖发生分解或者转变为其他异构体的几率并没有呈现一定线性关系。

表 3 超声波改性后多糖的单糖组成物质的量比

Tab. 3 Monosaccharides composition of polysaccharides modified by ultrasound

多糖组分	鼠李糖	阿拉伯糖	木糖	甘露糖	葡萄糖	半乳糖
PSP-60	0.97	1.02	0.89	0.49	1.00	1.17
30 min, 40 Hz	1.25	2.03	0.34	0.84	1.00	2.20
30 min, 70 Hz	1.98	5.32	1.04	0.92	1.00	3.04
30 min, 100 Hz	2.36	0.78	0.26	0.13	1.00	1.23

### 2.2.2 超声波改性后多糖的红外光谱图

由图 5 可知,不同频率超声波处理 30 min 后的 PSP-60 红外光谱图与原多糖相比,图形没有明显的差异,各特征基团的吸收峰位置、形状与原多糖 PSP-60 几乎相同,无新吸收峰出现,仍具有原有基本结构和基团。说明超声波处理后并没有破坏多糖的原有结构,未产生新的化合物。

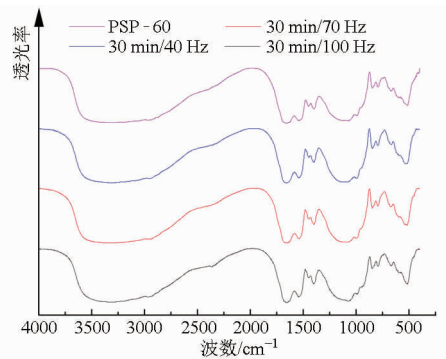


图 5 不同超声波频率改性多糖的红外光谱图  
Fig. 5 IR spectra of polysaccharide samples by different ultrasonic frequencies

### 2.2.3 超声波改性后多糖的抗氧化能力测定

由图 6 可知,不同超声波频率处理后的多糖仍具有较强的清除 DPPH 自由基的能力,各多糖清除能力仍呈现较好的量效关系,在质量浓度为 2.5 mg/mL 时,经过 40、70、100 Hz 处理的清除率分别为 57.65%、65.81%、68.34%,对比 PSP-60 清除率 61.90% 可知,100 Hz 处理的多糖对 DPPH 自由基清除能力最强,但超声波频率和自由基清除率没有呈现明显线性关系。

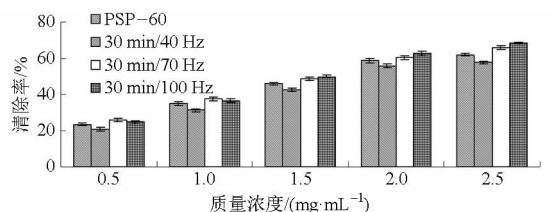


图 6 不同超声波频率改性多糖对 DPPH 自由基清除作用  
Fig. 6 Scavenging activity of polysaccharide sample by different ultrasonic frequencies

### 3 结论

(1) 使用不同浓度乙醇沉淀制备3种多糖PSP-30、PSP-60和PSP-80,经紫外、红外光谱及气相色谱测定3种多糖均为蛋白-多糖复合物,不含糖醛酸;PSP-30、PSP-60均由鼠李糖、阿拉伯糖、木糖、甘露糖、葡萄糖、半乳糖6种单糖组成,PSP-80由鼠李糖、阿拉伯糖、木糖、葡萄糖、半乳糖5种单糖组成,不含甘露糖;3种多糖对DPPH自由基的清除率均随质量浓度的升高而增大,其中PSP-60的清除率最高,质量浓度在2.5 mg/mL时,清除率为61.90%。

(2) 通过不同频率超声波改性后多糖PSP-60主要基团和单糖种类并没有发生变化,但单糖的组成物质的量比发生了改变,说明超声波可以造成多糖组成单元的单糖转化和降解,但频率的增加和发生转化的单糖种类之间未呈现规律;多糖PSP-60超声波处理后对DPPH自由基仍具有较高的清除率,其中经30 min、100 Hz处理的多糖清除率最高,当质量浓度为2.5 mg/mL时,清除率为68.34%。

(3) 本试验结果表明,超声波处理多糖可以造成多糖中单糖转化为其他单糖,从而使多糖中单糖物质的量比发生变化,同时可能造成其他理化性质及生物活性发生改变,如抗氧化性。

### 参 考 文 献

- 1 Tsai Y S, Tong Y C, Cheng J T, et al. Pumpkin seed oil and phytosterol-F can block testosterone/prazosin-induced prostate growth in rats[J]. *Urologia Internationalis*, 2006, 77(3): 269-274.
- 2 董胜旗, 陈贵林, 何洪巨, 等. 南瓜子营养与保健研究进展[J]. *中国食物与营养*, 2006(1): 42-44.
- 3 Košťálová Z, Hromádková Z, Ebringerová A, et al. Polysaccharides from the Styrian oil-pumpkin with antioxidant and complement-fixing activity[J]. *Industrial Crops and Products*, 2013, 41: 127-133.
- 4 张高帆, 苏东洋, 张拥军, 等. 南瓜多糖对不同糖尿病模型小鼠的降糖作用[J]. *中国食品学报*, 2014, 14(2): 23-27. Zhang Gaofan, Su Dongyang, Zhang Yongjun, et al. The hypoglycemic effect of the pumpkin polysaccharide to the different diabetic model mice[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2014, 14(2): 23-27. (in Chinese)
- 5 徐国华, 韩志红, 吴永方, 等. 南瓜多糖的抑瘤作用及对红细胞免疫功能的影响[J]. *武汉市职工医学院学报*, 2000, 28(4): 1-4.
- 6 Song Y, Zhang Y Y, Zhou T T. A preliminary study of monosaccharide composition and  $\alpha$ -glucosidase inhibitory effect of polysaccharides from pumpkin (*Cucurbita moschata*) fruit[J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2012, 47(2): 357-361.
- 7 万艳娟, 刘晓娟, 赵力超, 等. 南瓜多糖抑制 $\alpha$ -淀粉酶及抑菌活性的研究[J]. *食品科技*, 2012, 37(3): 45-47.
- 8 Xanthopoulou M N, Nomikos T, Fragopoulou E, et al. Antioxidant and lipoxygenase inhibitory activities of pumpkin seed extracts[J]. *Food Research International*, 2009, 42(5-6): 641-646.
- 9 王丽波, 徐雅琴, 杨昱, 等. 南瓜籽油的水酶法提取工艺及产品的理化性质[J]. *农业工程学报*, 2011, 27(10): 383-387. Wang Libo, Xu Yaqin, Yang Yu, et al. Aqueous enzymatic extraction of pumpkin seed oil and its physical-chemical properties[J]. *Transactions of the CSAE*, 2011, 27(10): 383-387. (in Chinese)
- 10 李兴华, 陈大舟, 徐彦发. 新编酒精密度浓度和温度常用数据表[M]. 北京: 中国计量出版社, 2008.
- 11 池源, 王丽波. 苯酚-硫酸法测定南瓜籽多糖含量的条件优化[J]. *食品与机械*, 2014, 30(1): 89-92.
- 12 Bitter T, Muir H M. A modified uronic acid carbazole reaction[J]. *Analytical Biochemistry*, 1962, 4(4): 330-334.
- 13 李婷婷, 张晖, 吴彩娥, 等. 油茶籽糖蛋白提取工艺优化及抗氧化性[J]. *农业机械学报*, 2012, 43(4): 148-155. Li Tingting, Zhang Hui, Wu Caie, et al. Extraction optimization and antioxidant activity of glycoprotein from *Camellia oleifera* seed[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2012, 43(4): 148-155. (in Chinese)
- 14 Yu R M, Yin Y, Yang W, et al. Structural elucidation and biological activity of a novel polysaccharide by alkaline extraction from cultured *Cordyceps militaris*[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2009, 75(1): 166-171.
- 15 Zhao Q S, Xie B X, Yan J, et al. In vitro antioxidant and antitumor activities of polysaccharides extracted from *Asparagus officinalis*[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2012, 87(1): 392-396.
- 16 孙延芳, 梁宗锁, 单长卷, 等. 野生酸枣果硒多糖纯化与光谱分析[J]. *农业机械学报*, 2011, 42(6): 148-151. Sun Yanfang, Liang Zongsuo, Shan Changjuan, et al. Purification and corresponding spectroscopic analysis of selenium polysaccharide in sour jujube fruits[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2011, 42(6): 148-151. (in Chinese)
- 17 Xie J H, Xie M Y, Nie S P, et al. Isolation, chemical composition and antioxidant activities of a water-soluble polysaccharide from *Cyclocarya paliurus* (Batal.) Iljinskaja[J]. *Food Chemistry*, 2010, 119(4): 1626-1632.
- 18 周继国, 刘刚, 刘剑虹, 等. 毛头鬼伞的红外光谱研究[J]. *光谱学与光谱分析*, 2008, 29(2): 321-323.
- 19 Liu J C, Sun Y X, Yu X L, et al. Chemical structure of one low molecular weight and water-soluble polysaccharide (EFP-W1) from the roots of *Euphorbia fischeriana*[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2012, 87(2): 1236-1240.
- 20 刘娜女, 张静, 孙润广, 等. 超声对鸡腿菇多糖结构及生物活性的影响[J]. *化学学报*, 2011, 69(15): 1824-1832. Liu Nanyü, Zhang Jing, Sun Runguang, et al. The effect mechanism of ultrasound on the structure and biological activity of polysaccharide isolated from *Coprinus comatus*[J]. *Acta Chimica Sinica*, 2011, 69(15): 1824-1832. (in Chinese)